

(m33)

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 38 13 570 A 1

51 Int. Cl. 4:  
B 29 C 65/16  
// B23K 20/06, 20/10

21 Aktenzeichen: P 38 13 570.1  
22 Anmeldetag: 22. 4. 88  
43 Offenlegungstag: 9. 11. 89

D5

DE 38 13 570 A 1

71 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

72 Erfinder:

Klein, Rolf, Dipl.-Ing.; Poprawe, Reinhart, Dr., 5100  
Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung

Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt.

Um die gesamte zur Verfügung gestellte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle auszunutzen, wird dieses Verfahren so durchgeführt, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke durchgeführt wird.

*Volumenabsorption*

DE 38 13 570 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt.

Das Schweißen metallischer Werkstücke mit Laserstrahlung erfolgt durch Aufschmelzen der Werkstückoberfläche im Bereich der Fügestelle. Dabei wird die zum Aufschmelzen in das Werkstück eingekoppelte Energie durch Wärmeleitung in größere Tiefen transportiert. Bei Werkstücken mit geringer Wärmeleitung, beispielsweise aus Keramik oder Kunststoff, ist ein Aufschmelzen der Werkstückoberfläche mit der Gefahr einer Schädigung des Werkstoffs durch Überhitzung verbunden und die Wärmeleitung ist gering, so daß ein herkömmliches Schweißen mit Laserstrahlung zu unbefriedigenden Ergebnissen führt.

Konventionelle Schweißverfahren für z.B. thermoplastische Kunststoffe sind Siegelschweißen, Warmgasschweißen, Vibrationsschweißen und Ultraschallschweißen. Beim Siegelschweißen und beim Warmgasschweißen erfolgt das Aufschmelzen des Werkstoffs über Wärmeleitung, nachdem die nötige Energie über die Werkstückoberfläche eingekoppelt wurde. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit wird jedoch durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs begrenzt. Siegelschweißen, Vibrationsschweißen und Ultraschallschweißen sind werkzeugabhängige Fügeverfahren, weil die zum Verschweißen der Werkstücke nötige Energie durch speziell für die Füge- und Werkstückgeometrie herzustellende Werkzeuge übertragen werden muß. Diese Verfahren sind daher nicht sehr anpassungsfähig.

Aus der DE-OS 25 44 371 ist ein Verfahren zum Verschweißen von thermoplastischen Folien bekannt, bei dem Laserlicht in übereinandergelegte Folienschichten eingestrahlt und dabei zum Teil absorbiert wird. Ein Teil der durch die Folie hindurchgestrahlten Laserenergie trifft auf ein Unterlagsteil, das die Energie zurückstrahlt. Beim Auftreffen auf dieses Unterlagsteil wird dieses erwärmt, so daß es entsprechend beschaffen sein muß, um der Wärmebeanspruchung zu widerstehen. Das Zurückstrahlen von Energie durch ein erwärmtes Unterlagsteil ist offensichtlich nachteilig, weil durch die Erwärmung des Unterlagsteils Energie verlorengeht, und weil die Prozeßgeschwindigkeit wegen der erforderlichen Erwärmung des Unterlagsteils erheblich herabgesetzt werden muß.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß die gesamte zur Verfügung gestellte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle zur Verfügung steht.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke durchgeführt wird.

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß die gesamte Energie der Laserstrahlung innerhalb des Werkstoffs der Werkstücke zum Aufschmelzen zur Verfügung gestellt wird. Dadurch kann Energieverlust praktisch vollständig ausgeschlossen werden, so daß mit Lasern kleiner Leistung gearbeitet werden kann, die entsprechend preiswert sind, bzw. so daß eine größere Bearbeitungs-

geschwindigkeit ermöglicht wird. Die Ausschaltung von Wärmeleitungsvorgängen beim Einkoppeln der Laserenergie in die Werkstücke ermöglicht ebenfalls grundsätzlich eine Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Vorteilhaft ist es, das Energieabsorptionsvermögen des Werkstoffs mit Zusatzstoffen zu beeinflussen, die dem Werkstoff bei dessen Herstellung beigegeben werden. Solche Zusatzstoffe sind Füllstoffe, Farbstoffe, Weichmacher usw. Sie werden im Hinblick darauf ausgewählt, daß Laserstrahlung bestimmter Wellenlänge mehr oder weniger absorbiert wird. Dabei kann die Beigabe der Zusatzstoffe so erfolgen, daß damit auch die Eindringtiefe der Laserstrahlung in den Werkstoff beeinflusst wird, wodurch die Aufschmelztiefe beeinflussbar ist. Es ist also z.B. möglich, eine Folie auf einer Seite mit einer Schicht zu versehen, in der die Laserstrahlung vollständig absorbiert wird, so daß dementsprechend auch nur diese Schicht aufschmilzt. Zum Aufschmelzen der gesamten Schicht muß die Schichtdicke auf die pro Zeiteinheit zugeführte Laserenergie abgestimmt werden. Eine Möglichkeit für eine solche Abstimmung ist es, die Energieabsorption im Werkstoff durch eine Auswahl der Wellenlänge der Laserstrahlung zu beeinflussen. Es versteht sich jedoch, daß auch andere, an sich bekannte Verfahren verwendet werden können, beispielsweise die Beeinflussung der Energieabsorption im Werkstoff durch Veränderung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Wird so verfahren, daß Prozeßparameter geregelt werden, daß also die Bearbeitungsgeschwindigkeit und/oder die Leistung fortwährend geregelt werden, um die Energieabsorption im Werkstoffvolumen zu beeinflussen, also im Sinne einer vollständigen Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke, so erfolgt die Regelung vorteilhafterweise in Abhängigkeit von der fortwährend gemessenen Schmelzentemperatur. Dabei wird eine berührungslose Temperaturmessung im Bereich der Fügezone benutzt, z.B. mit einer Thermosäule oder mit einem Pyrometer. Die Regelung erfolgt dem Meßergebnis entsprechend derart, daß die Zersetzungstemperatur des Werkstoffs nicht erreicht oder überschritten wird. Des weiteren ist von besonderer Bedeutung, und zwar bei einem Verfahren, bei dem in Bestrahlungsrichtung hinter dem energieabsorbierenden Werkstoffvolumen ein energierückstrahlendes Teil verwendet wird, das mindestens ein die Laserstrahlung reflektierendes Teil verwendet wird. Eine Reflexion der Laserstrahlung bedeutet, daß das die Reflexion bewirkende Teil selbst keine Energie aufnimmt, abgesehen von unmaßgeblichen, für die Energiebilanz unwesentlichen Anteilen. Die reflektierte Laserstrahlung kann dann im Werkstoff vollständig absorbiert werden. Ist die reflektierte Strahlung zu energiereich, um im Reflexionsbereich des Werkstoffs absorbiert zu werden, so kann ein weiteres die Laserstrahlung reflektierendes Teil verwendet werden, wenn die für diese zweite Reflexion oder für weitere Reflexionen erforderliche Strahlführung in geeigneter Weise festgelegt wird.

Das Verfahren ist nicht darauf beschränkt, daß das Laserstrahlung reflektierende Teil hinter den zu fügenden Werkstücken angeordnet ist. Vorteilhafterweise wird es auch so ausgestaltet, daß ein Laserstrahlung reflektierendes Teil im Inneren mindestens eines Werkstücks oder zwischen beiden Werkstücken verwendet wird. Dadurch ist es insbesondere bei stärkeren Werkstücken möglich, z.B. bei Folien, Platten oder Halbzeu-

gen, die Eindringtiefe der Laserstrahlung festzulegen. Ein derartiges Verfahren wird beispielsweise beim Hohlraumschweißen verwendet, wo es darauf ankommt, daß die dem Laserstrahl abgewendete Wandfläche nicht aufgeschmolzen wird.

In Ausgestaltung der Erfindung wird das Verfahren so durchgeführt, daß die Laserstrahlung bei einem Durchstrahlen des energieabsorbierenden Werkstoffvolumens in einem den Winkel der Totalreflexion unterschreitenden Winkel auf eine das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche eingestrahlt wird.

Die das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche kann von einem vorerwähnten, Laserstrahlung reflektierenden Teil gebildet werden. Totalreflexion ist jedoch auch an anderen Grenzflächen möglich, beispielsweise an der Grenzfläche des Werkstücks mit der Luft. Liegen infolge der entsprechenden Gestaltung der dem Verfahren dienenden Anordnung geeignete Grenzflächen vor, so bewirkt die Totalreflexion, daß die Laserstrahlung den Werkstoff bzw. das Werkstück nicht mehr verlassen kann und die Strahlungsenergie infolgedessen vollständig durch Werkstoffvolumen absorbiert wird.

Um die Energieabsorption bei unterschiedlichen Gestaltungen der Werkstücke im Sinne möglichst vollständiger Energieabsorption beeinflussen zu können, wird die Laserstrahlung senkrecht oder parallel zur Fügeebene der Werkstücke in deren energieabsorbierendes Werkstoffvolumen eingestrahlt. Die jeweils günstigste Einstrahlungsrichtung wird durch die jeweils gegebene Fügegeometrie bestimmt, wie auch durch das angestrebte Ziel.

Bei einem Verfahren mit relativ zur Laserstrahlung bewegten Werkstücken kann es vorteilhaft sein, daß Laserstrahlung mit einem den Aufschmelzbereich in Bewegungsrichtung vergrößernden Querschnitt verwendet wird. Infolgedessen wird die Fügestelle in Bewegungsrichtung vergrößert und dadurch die Schmelztemperatur an den aufgeschmolzenen Stellen länger gehalten, damit die Schmelzen der Werkstücke besser ineinanderfließen. Dem gleichen Zweck der besseren Schmelzenmischung dient ein Verfahren, bei dem Laserstrahlung in einem Querschnitt verwendet wird, der zu einer Vorwärmung von Bereichen der der Fügezone unter gegenseitiger Annäherung zugeführten Werkstücke führt.

Werden die Werkstücke mit Druck gefügt, so ergibt sich eine bessere Verbindung durch einen innigeren Kontakt des aufgeschmolzenen Werkstoffs der Werkstücke. Derartiger Druck wird durch Preßrollen, durch Preßgleiter oder durch eine starke Gasströmung nach Art des Preßschweißens erzielt. Derartiges Verfahren mit Druck wird insbesondere für Kunststofffolien angewendet.

Eine weitere Möglichkeit, die Verbindungsfestigkeit von Werkstücken zu fördern, liegt darin, daß die Werkstücke mit die gegenseitige Durchmischung des aufgeschmolzenen Werkstoffs fördernden gegenseitigen Verbindungseingriffen verwendet werden. Eine derartige Formgestaltung der Werkstücke mit Verbindungseingriffen ist insbesondere für dickere Werkstücke geeignet, wie Platten oder Halbzeuge. Die speziell ausgebildeten Fügeflächen der zu verbindenden Werkstücke brauchen jedoch nicht präzise ausgeführt zu werden, da etwaige Toleranzen bzw. Abstände zwischen den Werkstücken beim Aufschmelzen des Werkstoffs verschwinden. Die Formgestaltung der Werkstücke bedeutet da-

her keinen großen Herstellungsaufwand.

Es werden vorteilhafterweise Verbundfolien als Werkstücke verwendet, die mindestens eine thermoplastische Kunststoffschicht als Fugeschicht haben und/oder die eine Laserstrahlung reflektierende Verbundschicht haben. Es ist infolgedessen möglich, auch solche Werkstoffe zu miteinander zu verbindenden Folien zu verarbeiten, die an sich einer durch Wärme wirkenden Verbindungstechnik nicht zugänglich sind, indem sie mit einer thermoplastischen Kunststoffschicht als Fugeschicht versehen werden. Eine solche Verbundfolie kann also eine für einen bestimmten Einsatzzweck geeignete, aber nicht schweißbare Schicht haben, die mit einer für den bestimmten Einsatzzweck nicht geeigneten, jedoch zum Fügen dienenden Schicht versehen ist. Die Verbundfolie kann aber stattdessen oder auch zugleich eine Verbundschicht haben, die die Laserstrahlung reflektiert, um zu gewährleisten, daß die gesamte Strahlungsenergie zum Aufschmelzen der dem Fügen dienenden Schicht dient. Eine solche strahlungsreflektierende Schicht ist entweder eine beidseitig umkleidete Einlage-schicht, oder sie liegt einseitig offen, wobei die strahlungsreflektierende Verbundschicht zugleich auch als Schicht mit einem weiteren speziellen Einsatzzweck dienen kann, beispielsweise der thermischen Abschirmung oder der hygienischen Aufbewahrung von Lebensmitteln.

Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, insbesondere für thermoplastische Kunststofffolien od.dgl., die auf eine Fügestelle der Werkstücke gerichtet ist und eine Energiedichte aufweist, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt. Um zu Erreichen, daß das Fügeverfahren ohne Verlustenergie und infolgedessen und wegen einer Ausschaltung von Wärmeleitung mit einer höheren Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht wird, ist die eingestrahlte Energie ausschließlich innerhalb des bestrahlten Werkstoffvolumens absorbiert.

Vorteilhafterweise hat sie mindestens einen Leittkörper zum Formen eines Fugespalts flexibler Werkstücke, und die Leittkörper sind Laserstrahlung reflektierend. Mit Hilfe der Leittkörper können die Werkstücke in eine für das Fügen dienliche Form gebracht werden und zugleich sind die Leittkörper so ausgestaltet, daß Energieverluste nicht auftreten können, weil die Laserstrahlung von ihnen in den Fugespalt bzw. in die miteinander zu verbindenden flexiblen Werkstücke reflektiert wird, wo sie dem Aufschmelzen des Werkstoffs dient. In spezieller Ausgestaltung weist sie polierte Leitflächen für die Verarbeitung thermoplastischer Kunststofffolien auf, wobei die Leitflächen nicht nur der Strahlungsreflexion dienen, sondern zugleich auch dem oberflächenscho-nenden Zuführen der Kunststoffolien.

Die Vorrichtung ist besonders dann für das Verbinden von Kunststoffolien optimal, wenn sie einen parallel zur Fügeebene der thermoplastischen Kunststoffolien zugeführten Laserstrahl hat, und wenn die Breite und/oder die Länge des auf den Folien vorhandenen Strahlflecks einstellbar ist. In diesem Fall können die Folien durch eine geeignete Breite des Strahlflecks im gewünschten Sinne vor ihrem Zusammenführen vorgewärmt werden, nämlich mit der im Randbereich des Laserstrahls geringeren Energiedichte, während durch die Wahl der Länge des Strahlflecks derjenige Bereich des durch die Überlappung von Folien gebildeten Bereichs bestimmt wird, der aufgeschmolzen wird.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Herstellung von Endlos-schlauch aus einer Folienbahn,

Fig. 2 ein Diagramm zur Erklärung der Wirkung der Reflexion von Laserstrahlung in ein durchstrahltes Werkstück,

Fig. 3, 4 Vorrichtungen zum Fügen von Folien, und

Fig. 5a bis i Fügespalte bzw. Fügezonen von miteinander zu verbindenden Werkstücken größerer Werkstoffstärken.

Gemäß Fig. 1 soll aus einem thermoplastischen Werkstück 1 in Gestalt einer flachen Kunststoffolie ein Schlauchbeutel 2 hergestellt werden, der eine Fügenaht 3 hat. Hierzu ist eine Folienführungsvorrichtung 5 erforderlich, die im wesentlichen aus der dargestellten Formschulter 6 besteht, welche eine Auflauffläche 6' für das Werkstück 1 hat. Die Auflauffläche 6' geht in einen Schulterbereich 6'' über, von dem aus das Werkstück 1 mit den Kanten 1', 1'' von einem Leittkörper 7 der Formschulter 6 tangential zusammengeführt wird, um die Fügestelle bzw. die Fügenaht 3 zu bilden. Außerdem ist ein Trichter 8 vorhanden, dessen Auslauf 9 in ein schlitzenrohrartiges Ende 10 der Formschulter 6 gesteckt ist, so daß das Werkstück 1 entsprechend geführt ist, was der gewünschten Formung dient und zugleich das Befüllen des Schlauchbeutels 2 ermöglicht.

Die Verbindung der Fügenaht 3 bzw. der Kanten 1', 1'' des Werkstücks 1 zu der Fügenaht 3 wird durch geeignete Strahlführung und Strahlformung des Laserstrahls 4 erreicht. Der Spiegel 11 dient der Reflexion des Laserstrahls 4 bei gleichzeitiger Umlenkung und Fokussierung auf die durch einen Kreis gekennzeichnete Fügestelle 12 zwischen Kanten des Leittkörpers 7. Die Fokussierung erfolgt beispielsweise derart, daß der Laserstrahl an der Fügestelle 12 einen Strahlfleck mit einer in der Richtung des Fügespalts im Vergleich zur Strahlbreite erheblichen Länge hat, um zu einer sicheren Fügung der Kanten 1', 1'' zu kommen.

Der Leittkörper 7 ist dadurch laserstrahlungsreflektierend, da er hochglanzpoliert oder oberflächenverspiegelt ist. Er reflektiert die durch das Werkstück 1 transmittierte Strahlung in das absorbierende Material zurück, wobei je nach Art des Werkstoffs auch eine mehrfache Reflexion zwischen den einander gegenüberliegenden Flächen des Leittkörpers 7 möglich ist, wenn diese dafür ausgebildet sind, beispielsweise genügend lang.

Anhand von Fig. 2 wird das Grundsätzliche der Wirkung von durch ein Werkstück transmittierter Laserstrahlung für die Energieabsorption erläutert. Das Diagramm zeigt das Verhältnis  $I/I_0$  eines in Richtung 13 auf ein Werkstück 14 gestrahlten Laserlichtstroms und dessen Verlauf in Abhängigkeit von der durchstrahlten Dicke des letzteren. Es ist ersichtlich, daß der Lichtstrom sich zunehmend verringert, bis er auf der Austrittsseite 15 das Werkstück 14 verläßt. Er trifft dann auf einen Reflektor 16, der laserstrahlungsreflektierend ist, so daß der Lichtstrom in der verbliebenen Stärke in das Werkstück 14 zurück eintritt. Er wird dort entsprechend der gestrichelten Kurve absorbiert, so daß eine vollständige Lichtstrom- bzw. Energieabsorption im Werkstück 14 vorliegt. Da diese Energieabsorption mit einer Wärmeinkoppelung verbunden ist, bedeutet die Absorption der reflektierten Laserstrahlung einen entsprechenden Wärmezuwachs im Werkstück 14 entsprechend der gestrichelten Fläche 17. Der reflektierte Strahlungs- bzw. Lichtstrom  $I_{\text{trans}}$  führt also zu einer entsprechend ver-

gleichmäßigten Verteilung der Energie im Werkstück 14 und damit zu einer Vergleichmäßigung der Fügefestigkeit. Dies ist ein weiterer bedeutender Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens außer der Verringerung der Energieverluste bzw. der Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Fig. 3 zeigt die Verbindung zweier als Folien ausgestalteter Werkstücke 1, die in ihren Vorschubrichtungen 18 von Leittkörpern 7 tangential zusammengeführt und von einem in Einstrahlungsrichtung 19 einfallenden Laserstrahl 4 miteinander zu einer Dickfolie 20 verbunden werden, die in Vorschubrichtung 21 abgezogen wird.

Der Laserstrahl 4 ist derart fokussiert, daß er eine Strahlfleckbreite 22 hat, die die Dicke der herzustellenden Dickfolie 20 übersteigt. Infolgedessen werden die Folienwerkstücke 1 bereits vor ihrem Zusammenlaufen in Bereichen 23 erwärmt bzw. aufgeschmolzen, um in der Fügezone 24 miteinander verbunden zu werden. Soll eine derartige frühzeitige Erwärmung nicht erfolgen, so braucht der Laserstrahl 4 nur eine Strahlfleckbreite 22' aufzuweisen, die sich an dem Abstand der Leittkörper 7 im Bereich der Fügezone 24 orientiert.

Wenn die Folienwerkstücke 1 mit einer Strahlfleckbreite 22 bestrahlt werden und die Laserstrahlung zum Teil durchlassen, trifft diese auf Reflexionsflächen 25, von denen sie in den Werkstoff reflektiert wird, was durch die Pfeile 26 angedeutet ist. Die betreffenden Reflexionsflächen 25 sind wiederum hochglanzpoliert oder oberflächenverspiegelt, was allerdings nicht notwendig ist, wenn der ersichtliche Reflexionswinkel kleiner ist, als der Winkel der Totalreflexion an der Außenfläche 27 der Werkstücke 1.

Fig. 4 zeigt eine der Fig. 3 ähnliche Anordnung mit Werkstücken 1, die aus Verbundfolie bestehen. Jedes Werkstück 1 hat eine Außenschicht 28, eine Fügenschicht 29, die also dem Fügen beider Werkstücke 1 zu einer Dickfolie 20' dienen sowie eine von den Schichten 28, 29 eingebettete Aluminiumschicht 30, die der Reflexion von Anteilen des Laserstrahls 4 dient, welche die Fügenschicht 29 durchstrahlen. In diesem Fall ist es nicht nötig, daß die Leittkörper 7 strahlungsreflektierende Eigenschaften haben, oder daß durch die Anordnung der Werkstücke 1 einerseits und die Bemessung bzw. Fokussierung des Laserstrahls 4 andererseits auf eine etwaige Totalreflexion an der mittleren Schicht Rücksicht genommen wird.

Die Fig. 5a bis 5i zeigen unterschiedliche Gestaltungen von Fügespalten bzw. Fügezonen bei Werkstücken größerer Dicke. Fig. 5a zeigt einen stumpfen Stoß zweier plattenförmiger Werkstücke 31 mit einem zu ihnen vertikalen Fügespalt 32 und einer Fügezone 33, deren Breite durch die Breite 22 des Strahlflecks des Laserstrahls 4 bestimmt wird. Gemäß Fig. 5b ist der Fügespalt 32 derart schräg in der Fügezone 33 angeordnet, daß sie sich über deren gesamte Breite erstreckt. Fig. 5c zeigt zwei plattenförmige Werkstücke 31 mit einem Überlappungsstoß, bei dem die Überlappungsfläche in Plattenmittelebene angeordnet ist. Im Vergleich dazu ist der Stoß gemäß Fig. 5d einfach keilförmig, wobei alle Flächenabschnitte eines Werkstücks 31 innerhalb der Fügezone 33 liegen. Gemäß Fig. 5e sind die Werkstücke 31 nut-federartig und gemäß Fig. 5f doppelkeilförmig bzw. verzahnt miteinander in Eingriff. Hierdurch wird die Verbindungsfestigkeit der Werkstücke 31 mittels besserer Durchmischung der Schmelzen erreicht. Die Fig. 5g, h zeigen einen einfachen Überlappungsstoß bzw. einen unter Absetzungen von Werkstücken 31 gebildeten Überlappungsstoß, wobei die Fügezone 33 je-

weils der Überlappungsbreite entspricht. Fig. 5i zeigt eine Flanschverbindung zweier als Halbzeug gestalteter Werkstücke 31', bei denen die aneinandergrenzenden Flächen doppelkeilförmigen Querschnitt aufweisen, etwa gemäß Fig. 5f, wobei aber die Breite 22 des Strahlflecks des Laserstrahls 4 gleich der Gesamtbreite des Verbindungsflansches ist. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Durchmischung der Werkstoffschmelze um so besser ist, je tiefer die gegenseitigen Verbindungseingriffe der Werkstücke 31, 31' sind, und je größer der Anteil zur Werkstückebene geneigter Verbindungsflächen ist.

Die Fig. 5k, l zeigen plattenartige Werkstücke 31 in stumpf gestoßener Anordnung und mit einer Vielzahl von Verbindungseingriffen bzw. mit einem entsprechend mäanderförmigen Fügespalt 32, der sich über die gesamte Breite der Fügezone 33 erstreckt. Eine Besonderheit ist die Anordnung eines Reflektorstreifens 34, der verhindert, daß die in Richtung 35 eingestrahlte Laserstrahlung die Werkstücke 31 vollständig durchsetzt. Vielmehr wird die Laserstrahlung reflektiert und dadurch die Tiefe der Fügezone 33 bestimmt. Die beiden Ausführungsformen unterscheiden sich dadurch, daß das reflektierende Teil 34 bei Fig. 5k im Fügespalt 32 zwischen den Werkstücken 31 angeordnet ist, wozu der Fügespalt 32 im Querschnitt entsprechend vergrößert ausgebildet sein muß. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 5l ist das reflektierende Teil 34 innerhalb des linken Werkstücks 31 in einer entsprechend geformten Nut angeordnet.

Die vorbeschriebenen Verfahren werden beispielsweise mit einem Laserstrahl eines Kohlendioxidlasers durchgeführt, wobei die Strahlführung der Anwendung angepaßt werden kann. Die Strahlführung kann dreidimensional gesteuert werden, so daß das Verfahren sehr anpassungsfähig ist, wenn mit den herkömmlichen Fügeverfahren verglichen wird. Das Verfahren ist insbesondere bei dünnen Folien von 10 Mikrometer bis 1 Millimeter vorteilhaft anwendbar, weil die Kunststoffe bei derartigen Materialstärken häufig Strahlung transmittieren, die sonst verlorengeht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, die auf eine Fügestelle der insbesondere aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Werkstücke gerichtet und mit einer Energiedichte angewendet wird, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstückbestrahlung im Sinne vollständiger Energieabsorption ausschließlich durch Werkstoffvolumen der Werkstücke (1, 14, 31, 31') durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Energieabsorptionsvermögen des Werkstoffs mit Zusatzstoffen beeinflusst wird, die dem Werkstoff bei dessen Herstellung beigegeben werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Energieabsorption im Werkstoff durch eine Auswahl der Wellenlänge der Laserstrahlung beeinflusst wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, bei dem Prozeßparameter geregelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung in

Abhängigkeit von der fortwährend gemessenen Schmelzentemperatur erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem in Bestrahlungsrichtung hinter dem energieabsorbierenden Werkstoffvolumen ein energierückstrahlendes Teil verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein die Laserstrahlung reflektierendes Teil (z.B. Leitkörper 7, Reflektorstreifen 34) verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laserstrahlung reflektierendes Teil (z.B. Reflektorstreifen 34) im Inneren mindestens eines Werkstücks (1, 31, 31') oder zwischen beiden Werkstücken verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung bei einem Durchstrahlen des energieabsorbierenden Werkstoffvolumens in einem den Winkel der Totalreflexion unterschreitenden Winkel auf eine das energieabsorbierende Werkstoffvolumen begrenzende Fläche eingestrahlt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung senkrecht oder parallel zur Fügeebene der Werkstücke (1, 31, 31') in deren energieabsorbierendes Werkstoffvolumen eingestrahlt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit relativ zur Laserstrahlung bewegten Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlung mit einem den Aufschmelzbereich in Bewegungsrichtung vergrößernden Querschnitt verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlung in einem Querschnitt verwendet wird, der zu einer Vorwärmung von Bereichen der Fügezone unter gegenseitiger Annäherung zugeführten Werkstücke (1) führt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1, 31, 31') mit Druck gefügt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (31, 31') mit die gegenseitige Durchmischung des aufgeschmolzenen Werkstoffs fördernden gegenseitigen Verbindungseingriffen verwendet werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß Verbundfolien als Werkstücke (1) verwendet werden, die mindestens eine thermoplastische Kunststoffschicht als Füge-schicht (29) haben und/oder die eine Laserstrahlung reflektierende Verbundschicht (Aluminiumschicht 30) haben.

14. Vorrichtung zum Fügen von Werkstücken aus aufschmelzbarem Werkstoff mit Laserstrahlung, insbesondere für thermoplastische Kunststofffolien od.dgl., die auf eine Fügestelle der Werkstücke gerichtet ist und eine Energiedichte aufweist, die ein Aufschmelzen und Ineinanderfließen von Werkstoff im Bereich der Fügestelle durch Energieabsorption bewirkt, dadurch gekennzeichnet, daß eingestrahlte Energie ausschließlich innerhalb des bestrahlten Werkstoffvolumens absorbiert ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens einen Leitkörper (7) zum Formen eines Fügespalts (32) flexibler Werkstücke (1) hat, und daß die Leitkörper (7) Laserstrahlung reflektierend sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß sie polierte Leitflächen für die Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffolien aufweist.

17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen parallel zur Fügeebene der thermoplastischen Kunststoffolien zugeführten Laserstrahl (4) hat, und daß die Breite (22) und/oder die Länge des auf den Folien vorhandenen Strahlflecks einstellbar ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

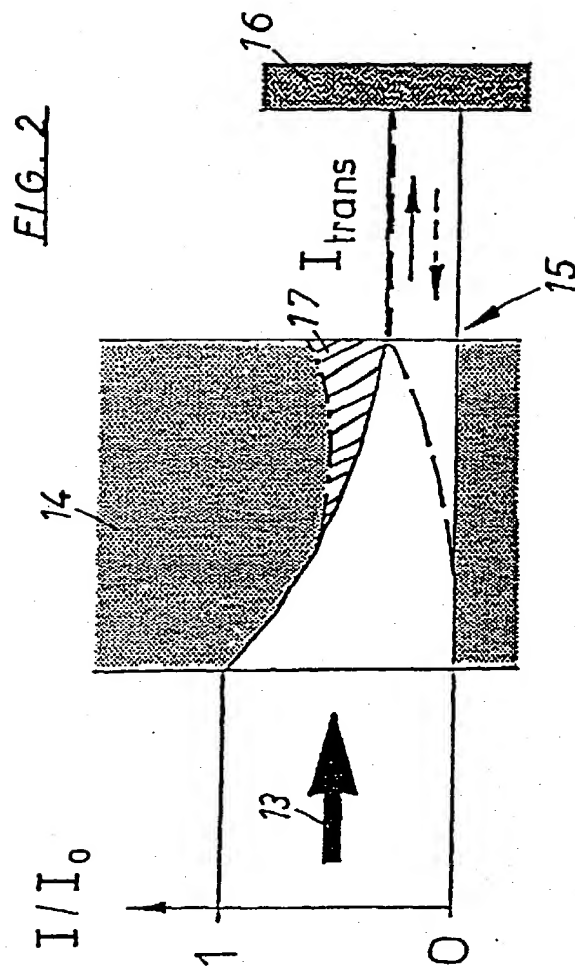
55

60

65

- Leerseite -

19





3813570

18.04.1988  
Sp/Gr

21

21407-IL T

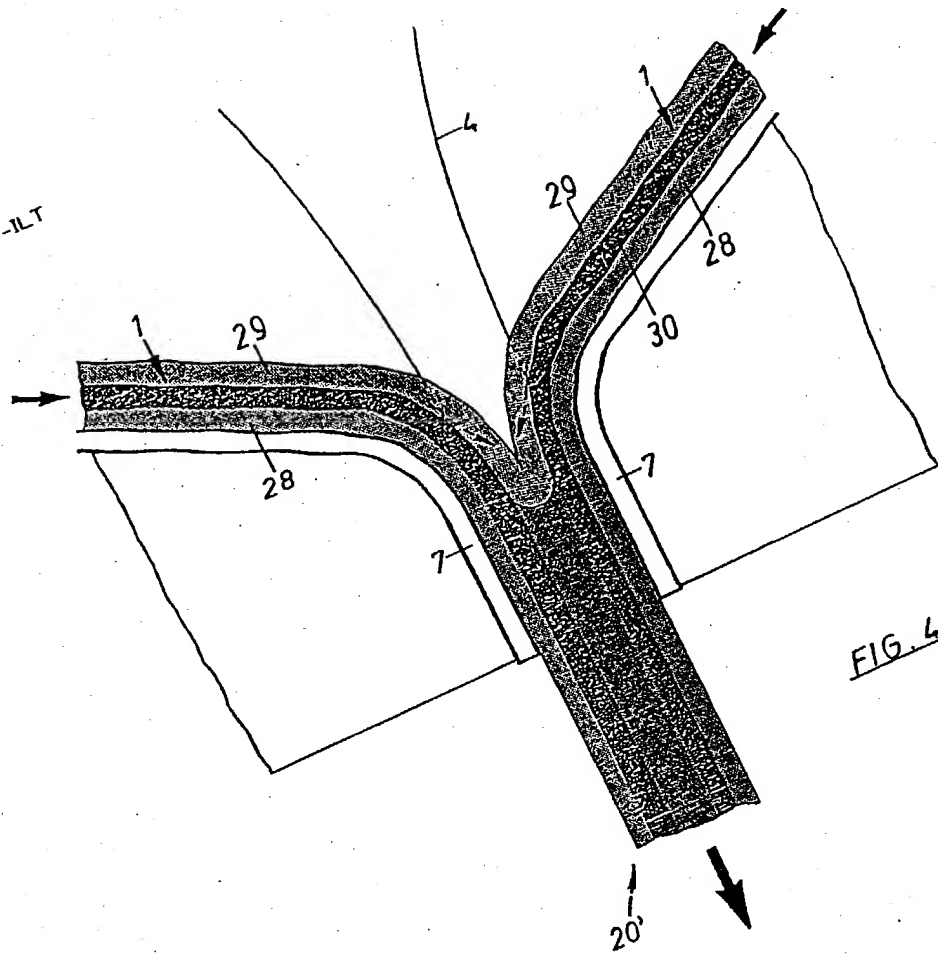
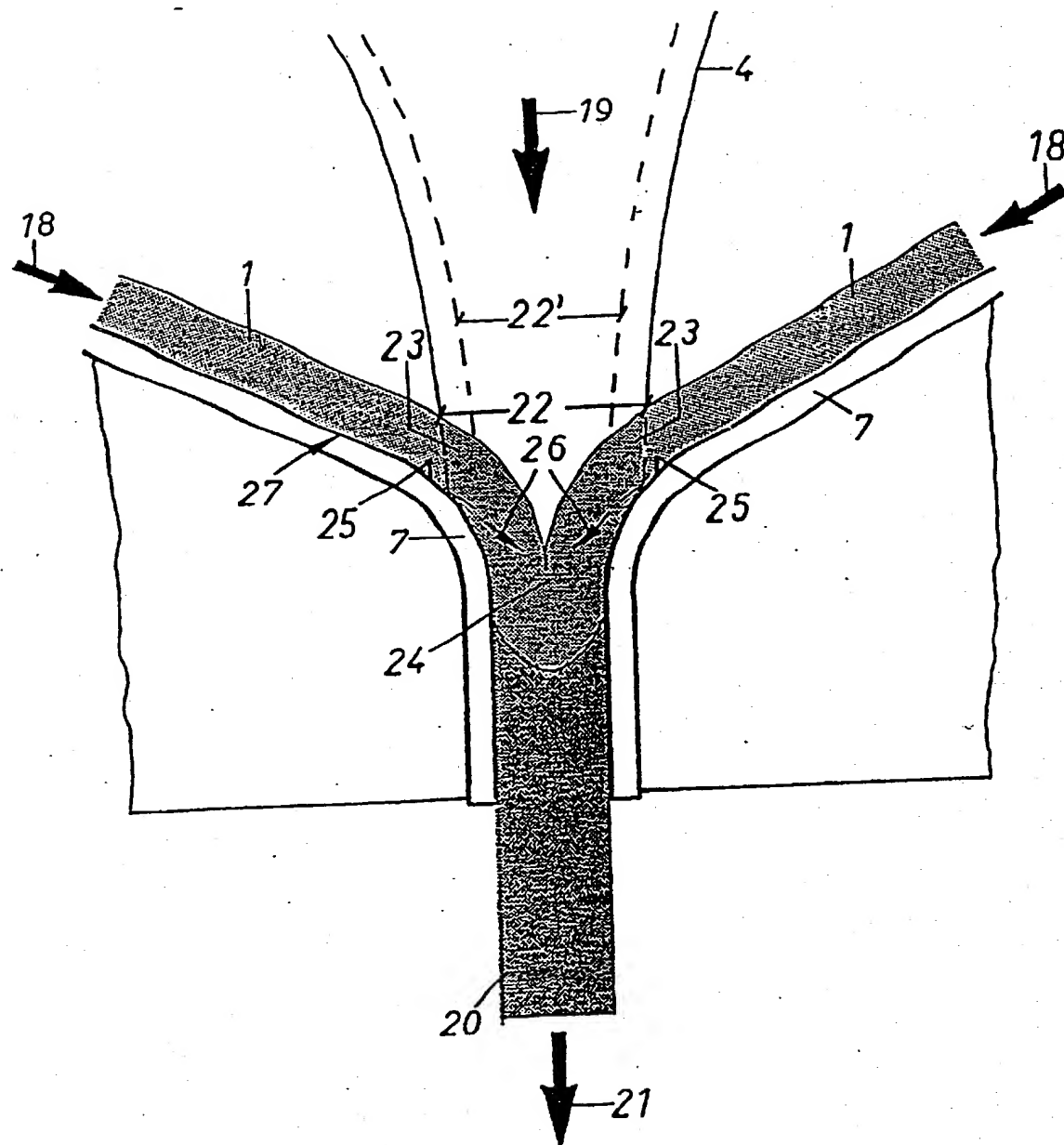


FIG. 4

FIG. 3

3813570

2\*

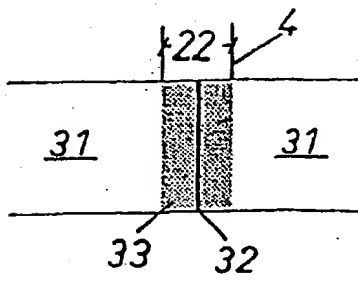


FIG. 5a

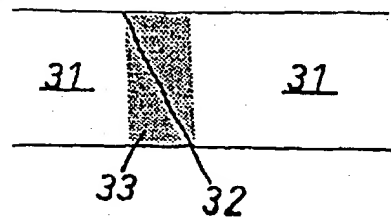


FIG. 5b

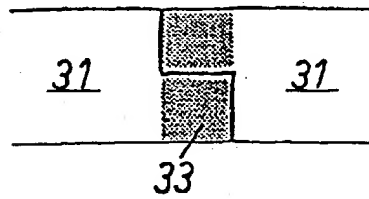


FIG. 5c

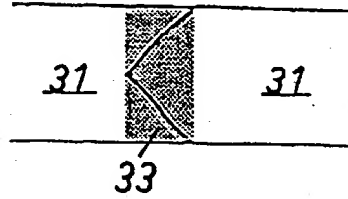


FIG. 5d

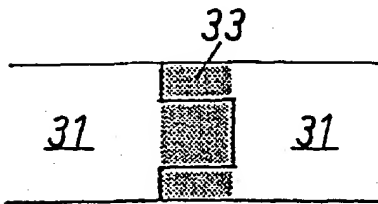


FIG. 5e

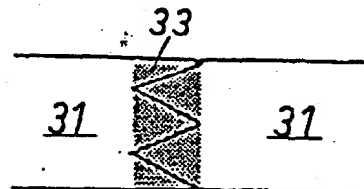


FIG. 5f

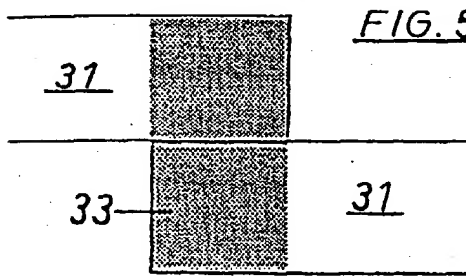


FIG. 5g

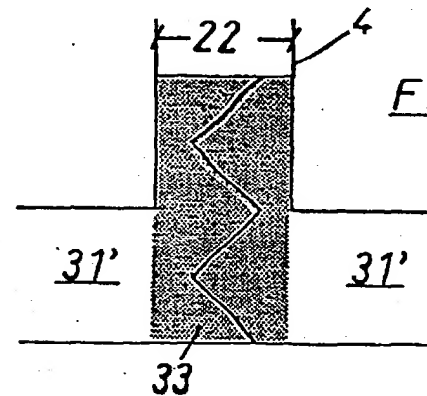


FIG. 5i

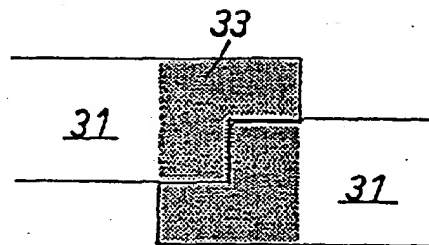


FIG. 5h

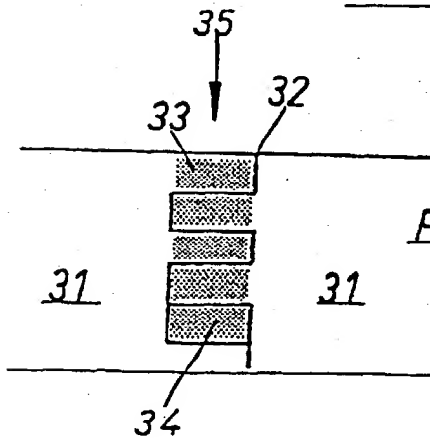


FIG. 5k

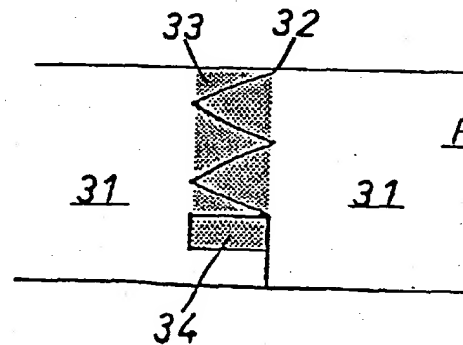


FIG. 5l

87/21407-ILT

3813570

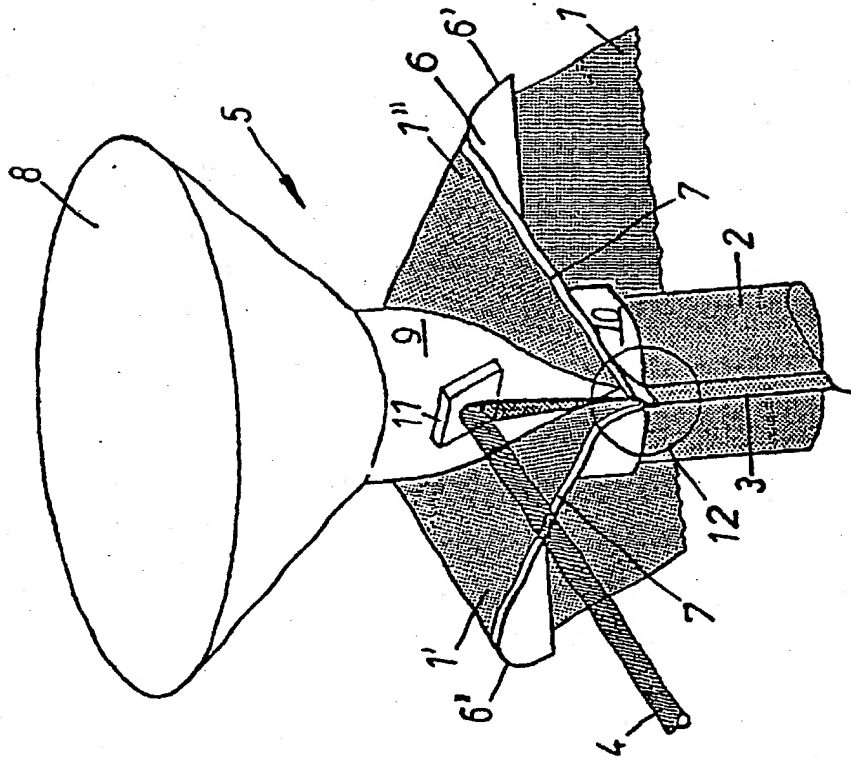
Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 13 570  
B 29 C 65/16  
22. April 1988  
9. November 1989

Sp/Gr

18

FIG. 1



### Description

The invention relates to a process for joining workpieces made from meltable material using laser radiation which is directed onto a joining point of the workpieces consisting in particular of thermoplastic plastic and applied using an energy density which effects melting and coalescence of material in the region of the joining point by energy absorption.

The welding of metallic workpieces using laser radiation is effected by melting the workpiece surface in the region of the joining point. The energy introduced into the workpiece for melting is thus transported to greater depths by heat conduction. For workpieces having low heat conduction, for example made from ceramic or plastic, melting of the workpiece surface is associated with the danger of damage to the material by over-heating and heat conduction is low so that traditional welding using laser radiation leads to unsatisfactory results.

Conventional welding processes for, for example thermoplastic plastics, are seal welding, hot-gas welding, vibration welding and ultrasound welding. In seal welding and in hot-gas welding, melting of the material is effected via heat conduction, since the necessary energy has been introduced via the workpiece surface. However, the processing speed is limited by the low thermal conductivity of the material. Seal welding, vibration welding and ultrasound welding are tool-dependent joining processes, because the energy necessary for welding the workpieces has to be transferred by tools to be produced specially for the joint and workpiece geometry. These processes are therefore not very capable of adaptation.

A process for welding thermoplastic films is known from German Offenlegungsschrift 2 544 371, in which laser light is irradiated into film layers placed one above another and thus partly absorbed. Some of the laser energy radiated through the film meets a substrate part which reflects the energy. On meeting this substrate part, the latter is heated so that provision has to be made accordingly to resist the thermal stress. The reflection of energy by a heated substrate part is

obviously disadvantageous because energy is lost due to heating of the substrate part, and because the process rate has to be considerably reduced due to the necessary heating of the substrate part.

In contrast, the object of the invention is to improve a process of the type mentioned in the introduction so that the entire radiation energy made available for melting material is made available in the region of the joining point.

This object is achieved in that workpiece irradiation is carried out in the sense of complete energy absorption only by material volume of the workpieces.

It is significant for the invention that the total energy of the laser radiation within the material of the workpieces is made available for melting. Energy loss may thus be almost completely excluded, so that a small capacity may be processed using lasers, which are correspondingly inexpensive, or so that a greater processing rate is made possible. Exclusion of heat-conduction processes during introduction of laser energy into the workpieces likewise facilitates in principle an increase in processing rate.

It is advantageous to influence the energy-absorption capacity of the material by additives which are admixed to the material during its production. Such additives are fillers, dyestuffs, plasticisers etc. They are selected with regard to the fact that laser radiation of certain wavelength is absorbed more or less. The admixture of additives may thus take place so that the penetration depth of the laser radiation into the material is thus also influenced, as a result of which the melting depth can be influenced. It is thus possible, for example to provide a film on one side with a layer, in which the laser radiation is completely absorbed, so that accordingly also only this layer melts. To melt the entire layer, the layer thickness must be matched to the laser energy supplied per unit of time. One possibility for such matching is to influence the energy absorption in the material by selecting the wavelength of the laser radiation. However, it is obvious that other processes known per se may also be used, for example influencing energy absorption in the material by changing the processing rate.

7  
6.12.16

If the process is carried out so that process parameters are regulated that thus the processing rate and/or the capacity are regulated continuously in order to influence the energy absorption in the material volume, that is in the sense of complete energy absorption only by material volume of the workpieces, regulation advantageously takes place as a function of the continuously measured melting temperature. Contact-free temperature measurement is thus used in the region of the joining zone, for example using a thermopile or using a pyrometer. Regulation takes place according to the measured result such that the decomposition temperature of the material is not achieved or exceeded. Furthermore, it is particularly significant, and indeed for a process in which an energy-reflecting part is used in irradiation direction behind the energy-absorbing material volume, which at least one part reflecting the laser radiation is used. Reflection of laser radiation means that the part itself effecting reflection does not absorb energy, apart from inconsequential portions which are not important for energy balance. The reflected laser radiation may then be absorbed completely in the material. If the reflected radiation is too energy-rich in order to be absorbed in the reflection region of the material, a further part reflecting the laser radiation may be used if the radiation control required for this second reflection or for further reflections is established in suitable manner.

The process is not restricted to the fact that the part reflecting laser radiation is arranged behind the workpieces to be joined. It is also advantageously designed so that a part reflecting laser radiation is used in the interior of at least one workpiece or between both workpieces. It is thus possible particularly for thicker workpieces, for example for films, plates or semi-finished products, to establish the penetration depth of laser radiation. Such a process is used, for example during cavity welding, where it is a question of the wall surface facing away from the laser beam not being melted.

In one embodiment of the invention, the process is carried out so that the laser radiation is irradiated onto a surface defining the energy-absorbing material volume at an angle going below the angle of total reflection when passing through the energy-absorbing material volume.

The surface defining the energy-absorbing material volume may be formed by a previously mentioned part reflecting laser radiation. However, total reflection is also

possible at other boundary surfaces, for example at the boundary surface of the workpiece with the air. If suitable boundary surfaces are present due to the corresponding design of the arrangement serving the process, the total reflection ensures that the laser radiation can no longer leave the material or the workpiece and the radiation energy is consequently completely absorbed by material volume.

In order to be able to influence the energy absorption for different shapes of the workpieces in the sense of as complete as possible energy absorption, the laser radiation is irradiated vertically or parallel to the joining plane of the workpieces in their energy-absorbing material volume. The particular most favourable irradiation direction is determined by the particular given joint geometry, and also by the required aim.

In a process with workpieces moved relative to the laser radiation, it may be advantageous that laser radiation having a cross-section which increases the melting region in the direction of movement is used. Consequently, the joining point is increased in the direction of movement and thus the melting temperature is maintained longer at the molten points so that the melts of the workpieces coalesce better. A process in which laser radiation is used in a cross-section which leads to pre-heating of regions of the workpieces passed to the joining zone with mutual convergence, serves the same purpose of better melt mixing.

If the workpieces are joined using pressure, a better bond is produced by more intimate contact of the molten material of the workpieces. Such pressure is achieved by press rollers, by press sliders or by a strong gas flow like a type of press-welding. Such a process using pressure is applied in particular for plastic films.

A further possibility of promoting the bonding strength of workpieces lies in the fact that the workpieces with mutual bonding contacts promoting mutual mixing of the molten material are used. Such shaping of the workpieces with bonding contacts is suitable in particular for thicker workpieces, such as plates or semi-finished products. However, the specially designed joining surfaces of the workpieces to be bonded do not need to be designed precisely, since any tolerances or distances between the



workpieces disappear when melting the material. Shaping of the workpieces therefore does not mean a considerable production expense.

Composite films are advantageously used as workpieces, which have at least one thermoplastic plastic layer as joining layer and/or which have a composite layer reflecting laser radiation. Consequently, it is also possible to process such materials to form films to be bonded to one another, which are not accessible per se to bonding technology acting by heat in that they are provided with a thermoplastic plastic layer as joining layer. Such a composite film may thus have a layer suitable for a certain intended use but cannot be welded, which is provided with a layer which is not suitable for the certain intended use but serves for joining. However, the composite film may have instead or even at the same time, a composite layer which reflects the laser radiation in order to guarantee that the entire radiation energy serves to melt the layer serving for joining. Such a radiation-reflecting layer is either an insert layer surrounded on both sides, or it is open on one side, wherein the radiation-reflecting composite layer may also serve at the same time as a layer having a further special intended use, for example thermal screening or hygienic storage of foodstuffs.

The invention also relates to a device for joining workpieces made from meltable material using laser radiation, in particular for thermoplastic plastic films or the like, which is directed onto a joining point of the workpieces and has an energy density which effects melting and coalescence of material in the region of the joining point by energy absorption. In order to ensure that the joining process is facilitated without lost energy and consequently and because of elimination of heat conduction at a higher processing rate, the irradiated energy is absorbed only within the irradiated material volume.

It advantageously has at least one conducting body for shaping a joining gap of flexible workpieces, and the conducting bodies reflect laser radiation. With the aid of the conducting bodies, the workpieces may be made into a shape useful for joining and at the same time the conducting bodies are designed so that energy losses cannot occur, because the laser radiation from them is reflected into the joining gap or into the flexible workpieces to be bonded to one another where it serves for melting the material. In a special embodiment, it has polished conducting surfaces for processing

of thermoplastic plastic films, wherein the conducting surfaces serve not only for radiation reflection, but at the same time also for surface-preserving supply of plastic films.

The device is optimum for bonding plastic films particularly when it has a laser beam supplied parallel to the joining plane of the thermoplastic plastic films, and when the width and/or the length of the beam spot present on the films can be adjusted. In this case, the films may be pre-heated by a suitable width of the beam spot in the required sense before they are brought together, namely with the energy density which is lower in the edge region of the laser beam, whereas by selecting the length of the beam spot, that region of the region formed by overlapping of films, which is melted, is determined.

The invention is illustrated using exemplary embodiments shown in the drawing.

Figure 1 shows a device for producing continuous tube from a film web,

Figure 2 shows a diagram for explaining the effect of reflection of laser radiation in an irradiated workpiece,

Figures 3, 4 show devices for joining films, and

Figure 5a shows up to 1 joining gap or joining zones of workpieces of greater material thicknesses to be bonded to one another.

According to Figure 1, a tubular bag 2, which has a joining seam 3, is to be produced from a thermoplastic workpiece 1 in the shape of a flat plastic film. A film-guiding device 5, which consists essentially of the shaped shoulder 6 shown which has a run-on surface 6' for the workpiece 1, is necessary for this. The run-on surface 6' transfers into a shoulder region 6'', from which the workpiece 1 with the edges 1', 1'' is brought together tangentially by a conducting body 7 of the shaped shoulder 6 in order to form the joining point or the joining seam 3. In addition, a funnel 8 is present, the discharge 9 of which is placed in a slotted tubular end 10 of the shaped shoulder 6, so that the

workpiece 1 is guided accordingly, which serves for the required shaping and at the same time facilitates filling of the tubular bag 2.

Bonding of the joining seam 3 or the edges 1', 1'' of the workpiece 1 to the joining seam 3 is achieved by suitable beam guiding and beam shaping of the laser beam 4. The mirror 11 serves for reflection of the laser beam 4 with simultaneous deflection and focussing on the joining point 12 characterised by a circle between edges of the conducting body 7. Focussing is effected, for example such that the laser beam at the joining point 12 has a beam spot with a length which is considerable compared to the beam width in the direction of the joining gap, in order to arrive at safer joining of the edges 1', 1''.

The conducting body 7 thus reflects laser radiation, since it is burnished or surface-silvered. It reflects the radiation transmitted through the workpiece 1 back into the absorbing material, wherein, depending on the type of material, multiple reflection between the surfaces of the conducting body 7 opposite one another is also possible, if they are designed for it, for example are adequately long.

Using Figure 2, the basic principles of the effect of laser radiation transmitted through a workpiece for energy absorption is illustrated. The diagram shows the ratio  $I/I_0$  of a laser light current radiated in direction 13 onto a workpiece 14 and its path as a function of the thickness of the latter through which radiation passes. It can be seen that the light current is reduced increasingly until it leaves the workpiece 14 on the outlet side 15. It then meets a reflector 16, which reflects laser radiation, so that the light current in the remaining thickness returns to the workpiece 14. It is absorbed there according to the dashed line, so that complete light current absorption or energy absorption is present in the workpiece 14. Since this energy absorption is associated with introduction of heat, absorption of the reflected laser radiation means a corresponding heat increase in the workpiece 14 according to the dashed-line area 17. The reflected radiation or light current  $I_{\text{trans}}$  thus leads to a correspondingly homogenised distribution of the energy in the workpiece 14 and thus to homogenising of the joining strength. This is a further significant advantage of the process of the invention apart from the reduction in energy losses or the increase in processing rate.

Figure 3 shows the bonding of two workpieces 1 formed as films, which are brought together tangentially in their advancing devices 18 by conducting bodies 7 and are bonded to one another to form a thick film 20 by a laser beam 4 incident in irradiation device 19, which thick film 20 is removed in advancing device 21.

The laser beam 4 is focussed such that it has a beam spot width 22 which exceeds the thickness of the thick film 20 to be produced. Consequently, the film workpieces 1 are already heated or melted before being brought together in regions 23 in order to be bonded to one another in the joining zone 24. If such premature heating should not take place, the laser beam 4 needs only to have a beam spot width 22' which is orientated at the distance of the conducting body 7 in the region of the joining zone 24.

If the film workpieces 1 are irradiated with a beam spot width 22 and the laser radiation to the part let through, the latter meets reflection surfaces 25, from which it is reflected into the material, which is indicated by arrow 26. The relevant reflection surfaces 25 are in turn burnished or surface-silvered, but which is not necessary if the visible reflection angle is smaller than the angle of total reflection at the outer surface 27 of the workpieces 1.

Figure 4 shows an arrangement similar to Figure 3 with workpieces 1 which consist of composite film. Each workpiece 1 has an outer layer 28, a joining layer 29, which thus serve for joining both workpieces 1 to form a thick film 20' and an aluminium layer 30 embedded by layers 28, 29, which serves for reflection of portions of the laser beam 4 which radiate through the joining layer 29. In this case it is not necessary that the conducting bodies 7 have radiation-reflecting properties, or that any total reflection at the central layer is taken into consideration due to the arrangement of the workpieces 1 on the one hand and dimensioning or focussing of the laser beam 4 on the other hand.

Figures 5a to 5i show different shapes of joining gaps or joining zones for workpieces of greater thickness. Figure 5a shows a butt joint between plate-like workpieces 31 with a joining gap 32 vertical to them and a joining zone 33, the width of which is determined by the width 22 of the beam spot of the laser beam 4. According to Figure

5b, the joining gap 32 is arranged at an angle in the joining zone 33 such that it extends over the entire width thereof. Figure 5c shows two plate-like workpieces 31 with an overlapping joint, in which the overlapping surface is arranged in the central plane of the plate. Compared to this, the joint according to Figure 5d is simply wedge-shaped, wherein all surface sections of a workpiece 31 lie within the joining zone 33. According to Figure 5e, the workpieces 31 are like a groove-spring and according to Figure 5f engage with one another like a double wedge or in toothed manner. The bonding strength of the workpieces 31 is thus achieved by means of better mixing of the melts. Figures 5g, h show a simple overlapping joint or an overlapping joint formed with depositions of workpieces 31, wherein the joining zone 33 corresponds in each case to the overlapping width. Figure 5i shows a flange connection of two workpieces 31' formed as a semi-finished product, in which the surfaces bordering one another have a cross-section like a double wedge, for example according to Figure 5f, but wherein the width 22 of the beam spot of the laser beam 4 is equal to the total width of the connecting flange. By way of summary it can be stated that mixing of the material melts is better, the deeper the mutual bonding contacts of the workpieces 31, 31', and the greater the proportion of bonding surfaces at an angle to the workpiece plane.

Figures 5k, l show plate-like workpieces 31 in butt-jointed arrangement and with a number of bonding contacts or with a correspondingly meandering joining gap 32, which extends over the entire width of the joining zone 33. A peculiarity is the arrangement of a reflector strip 34, which prevents the laser radiation irradiated in direction 35 from completely penetrating the workpieces 31. Rather, the laser radiation is reflected and thus the depth of the joining zone 33 determined. The two embodiments differ in that the reflecting part 34 in Figure 5k in the joining gap 32 is arranged between the workpieces 31, for which purpose the joining gap 32 has to be designed to be correspondingly enlarged in cross-section. In the embodiment according to Figure 5l, the reflecting part 34 is arranged within the left-hand workpiece 31 in a correspondingly shaped groove.

The processes described above are carried out, for example using a laser beam of a carbon dioxide laser, wherein beam control may be adapted to the application. Beam control may be controlled three-dimensionally, so that the process is very capable of

adaptation if compared to the traditional joining processes. The process can be applied particularly advantageously to thin films of 10 micrometres to 1 millimetre, because the plastics at such material thicknesses often transmit radiation which is otherwise lost.

## Patent claims

1. Process for joining workpieces made from meltable material using laser radiation which is directed onto a joining point of the workpieces consisting in particular of thermoplastic plastic and applied using an energy density which effects melting and coalescence of material in the region of the joining point by energy absorption, characterised in that workpiece irradiation is carried out in the sense of complete energy absorption only by material volume of the workpieces (1, 14, 31, 31').
2. Process according to claim 1, characterised in that the energy-absorption capacity of the material is influenced by additives which are admixed to the material during its production.
3. Process according to claim 1 or 2, characterised in that the energy absorption in the material is influenced by selecting the wavelength of the laser radiation.
4. Process according to one or more of claims 1 to 3, in which process parameters are regulated, characterised in that regulation takes place as a function of the continuously measured melting temperature.
5. Process according to one of claims 1 to 4, in which an energy-reflecting part is used in irradiation direction behind the energy-absorbing material volume, characterised in that at least one part reflecting the laser radiation (for example conducting body 7, reflector strip 34) is used.
6. Process according to one of claims 1 to 5, characterised in that a part reflecting laser radiation (for example reflector strip 34) is used in the interior of at least one workpiece (1, 31, 31') or between both workpieces.
7. Process according to one of claims 1 to 6, characterised in the laser radiation is irradiated onto a surface defining the energy-absorbing material volume at an angle going below the angle of total reflection when passing through the energy-absorbing material volume.

8. Process according to one of claims 1 to 7, characterised in that the laser radiation is irradiated vertically or parallel to the joining plane of the workpieces (1, 31, 31') in their energy-absorbing material volume.
9. Process according to one of claims 1 to 8, with workpieces moved relative to the laser radiation, characterised in that laser radiation having a cross-section which increases the melting region in the direction of movement is used.
10. Process according to one of claims 1 to 9, characterised in that laser radiation is used in a cross-section which leads to pre-heating of regions of the workpieces (1) passed to the joining zone with mutual convergence.
11. Process according to one of claims 1 to 10, characterised in that the workpieces (1, 31, 31') are joined using pressure.
12. Process according to one of claims 1 to 11, characterised in that the workpieces (31, 31') with mutual bonding contacts promoting mutual mixing of the molten material are used.
13. Process according to one of claims 1 to 12, characterised in that composite films are used as workpieces (1), which have at least one thermoplastic plastic layer as joining layer (29) and/or which have a composite layer (aluminium layer 30) reflecting laser radiation.
14. Device for joining workpieces made from meltable material using laser radiation, in particular for thermoplastic plastic films or the like, which is directed onto a joining point of the workpieces and has an energy density which effects melting and coalescence of material in the region of the joining point by energy absorption, characterised in that irradiated energy is absorbed only within the irradiated material volume.



15. Device according to claim 14, characterised in that it has at least one conducting body (7) for shaping a joining gap (32) of flexible workpieces (1), and in that the conducting bodies (7) reflect laser radiation.
16. Device according to claim 14 or 15, characterised in that it has polished conducting surfaces for processing of thermoplastic plastic films.
17. Device according to one or more of claims 14 to 16, characterised in that it has a laser beam (4) supplied parallel to the joining plane of the thermoplastic plastic films, and in that the width (22) and/or the length of the beam spot present on the films can be adjusted.